Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Vorstand: Professor Dr. Wasmuth

Vergleichende Betrachtungen über das optische Verhalten von künstlichen Zähnen, zahnkeramischen Massen und menschlichen Zähnen bei verschiedenen Beleuchtungen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Zahnheilkunde

einer Hohen Medizinischen Fakultät

der

Eberhard Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

Ernst Engel
Zahnarzt
aus Neubau/Saar-Pfalz

1940
Druck der Heidelberger Verlagsanstalt und Druckerei, Friedrich Schulze
Heidelberger Neueste Nachrichten, Heidelberg, Hauptstraße 23.

Dekan: Prof. Dr. Stickl.

Berichterstatter: Prof. Dr. Wasmuth.

Zum Druck genehmigt von der Medizinischen Fakultät Tübingen.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen Eltern gewidmet.

Es dürfte wohl eine allgemein bekannte Tatsache sein, daß die Farbbestimmung künstlicher Zähne besonderen Schwierigkeiten unterliegt. Als Beweis hierfür sind die vielen Vorschriften anzusehen, die gegeben worden sind, um die Beleuchtungsverhältnisse festzustellen, unter denen die Farbbestimmung am besten gelingt.

Aus diesen vielen Vorschriften geht hervor, daß die Umgebung einen maßgeblichen Einfluß auf das optische Verhalten der Zähne hat. Es ist weiter daraus zu ersehen, daß zwischen natürlichen und künstlichen Zähnen ein verschiedenes optisches Verhalten vorliegt. Sobald man nämlich die Umgebung ändert, ist die Farbübereinstimmung nicht mehr vorhanden. Aus diesem Grunde mußte es besonderes Aufsehen erregen, als Hiltebrandt bekannt machte und behauptete, er habe eine zahnkeramische Masse gefunden, die das gleiche optische Verhalten zeige wie natürliche Zähne.

Hiltebrandt erklärt das optische Verhalten menschlicher Zähne ungefähr folgendermaßen:

Im allgemeinen haben gelblich gefärbte lebende Substanzen die Eigenschaft, vorzugsweise nur die langwelligeren Strahlen zu reflektieren bei jeweils verschiedener Beleuchtung, oder anders ausgedrückt, daß sie vorwiegend gelbliche Strahlenbündel, also speziell die nach Rot zu tendierenden, zurückwerfen. Dies dürfte wohl einer der Hauptgründe für das verschiedene optische Verhalten von künstlichen und natürlichen Zähnen sein und dafür, daß wir die Verschiedenheit der Farbwirkungen von organischen Substanzen gegenüber anorganischen Substanzen feststellen können. Es hat fast den Anschein, als hätten organische Substanzen ein gewisses selektives Absorptionsvermögen und als würden sie in unserm Falle speziell die langwelligeren Strahlen reflektieren. Eine Körperfarbe

entsteht ja durch Absorption als sogenannte Restfarbe. Das heißt, die von dem Körper absorbierten Strahlen werden von unserem Auge nicht wahrgenommen, wohl aber die entsprechenden Complementärfarben. So erscheint uns z. B. ein Körper grün, wenn er rotes Licht absorbiert. Nun haben menschliche Zähne als organische Substanz die Eigenschaft, bei künstlicher Beleuchtung rötlicher zu erscheinen als bei Tageslicht. Es ist eigentümlich, daß hierdurch auf unser Empfinden der Eindruck des Lebendigen hervorgerufen wird.

Ferner ist bekannt, daß ein Körper bei einer künstlichen Lichtquelle nur dann in seiner natürlichen Körperfarbe erscheint, wenn diese Lichtquelle alle Lichtsorten enthält, also eine dem Sonnenlicht entsprechende Zusammensetzung aufweist. Bestrahle ich z. B. mit künstlichem blauen Licht natürliche und künstliche Zähne, so fällt sofort auf, daß die künstlichen Zähne ihre Körperfarbe ändern und in hohem Grade sich der Farbe der bestrahlenden Lichtquelle anpassen, während natürliche Zähne und die zahnkeramische Masse, die das gleiche optische Verhalten wie die natürlichen Zähne haben soll, weit geringere Abweichungen von ihrer Körperfarbe zeigen.

Diese Erscheinung veranlaßte mich, Untersuchungen anzustellen, inwieweit überhaupt künstliche Zähne und zahnkeramische Massen diese, ich möchte fast sagen, organische Eigenschaft besitzen, insbesondere aber auch die Masse, der diese Eigenschaft nachgerühmt wird; zumal hier in diesem Zusammenhang von Hiltebrandt mitgeteilt wird, daß es ihm nun gelungen sei, diese oben beschriebenen Erscheinungen und Wirkungen auch bei künstlichen Zähnen und zahnkeramischen Massen mit anorganischen Stoffen zu erzielen. Diese Feststellung ist natürlich von größter Wichtigkeit für die Ästhetik jeder Prothese. Es wäre dann auch nicht mehr zu befürchten, daß die bei Tageslicht ausgewählten Zahnfarben im künst-

lichen Lichte nicht mehr vollkommen mit der natürlichen Zahnfarbe übereinstimmten.

Um dies nun zu untersuchen und um zu einem Resultat zu kommen, habe ich folgende Versuche gemacht.

Zunächst brannte ich aus keramischen Massen verschiedener Fabrikate Jacket-Kronen, und zwar:

Wienand	1350°
De Trey (Prisma)	1350°
Hutschenreuther	1150°
Hutschenreuther	1350°
Vita	1130°
X	980°

Mit „X" bezeichne ich jeweils die neue keramische Masse und mit „Y" die neuen künstlichen Zähne, die das gleiche optische Verhalten wie die lebendigen Zähne haben sollen.

Die keramischen Massen versuchte ich alle auf die Farbe 8 des Vitafarbringes zu bringen. Natürlich konnte ich nach vielen Versuchen nur angenäherte Werte erzielen. Bei fast allen Massen setzte ich rote Farbe zu, um erstens eine angenäherte Farbeinheit zu erhalten und zweitens um zu beweisen, daß nicht der rote Farbzusatz bei einer zahnkeramischen Masse diese Erscheinung hervorruft, sondern daß das optische Verhalten lediglich durch die Masse selbst bedingt ist. Im folgenden gebe ich die Zusammensetzung der Versuchsmassen bekannt:

Vita 1130°:	Vita-Farbe 8, Schmelzpunkt 1130° mit 0,05% rötlicher Malfarbe Nr. 17 (rot)		
Vita 980° (X):	Schmelzpunkt 980°		
Wienand 1350°:	4 Teile Wienand Farbe 12		
	1 Teil „ „ 18		
	Schmelzpunkt 1350°		
Hutschenreuther 1150°:	Rekta-Farbe, Hals 37	3,1386	Teile
	Vita Malfarbe Nr. 17	0,0014	„
Hutschenreuther 1350°:	Rekta-Farbe, Hals 37	4,4968	„
	Roter Farbkörper	0,0032	„
Prisma (De Trey) 1350°:	Prisma, Farbe 5 (Schmelzpunkt 1215)	3,52805	„
	Roter Farbkörper	0,002	„
	Prisma Farbe 4	0,06305	„
	Vita Malfarbe Nr. 17	0,0039	„

Ebenso zog ich auch Zähne bekannter Zahnfabriken zur Prüfung heran, und zwar in verschiedenen Farbsortiments mit einem jeweils dazu passenden Zahn „Y“ von der neuen Masse.

Zusammenfassung der verschiedenen Zahnfarben:

Vita neu (Y)	Vita alt	Solarex	Verodens	Rekta	
134	8	42	44	35	
142	15	39	77	42	
133	10	57 bei Tageslicht zu rot	49	47	zu hell rötlich
144	6	41	82	38	
146	12		96 zu rot		
101	11	58 etwas zu hell rötlich	95 zu rot	49	zu hell rötlich

Meine Versuche wurden dadurch erschwert, daß es unmöglich ist, Zähne verschiedener Fabrikate in gleicher Farbe und noch weniger zahnkeramische Massen gleicher Färbung zu erhalten. Um wenigstens das Farbbild einheitlich zu haben, stellte ich die Jacketkronen immer nur in einer Farbe her (Dentin), um jede Beeinflussung durch eine andere Masse, wie z. B. Schmelz, zu verhindern.

Bringt man nun diese Zähne und Jacketkronen, geschlossen wie sie sind, in einen besonders dafür konstruierten Apparat, bei dem man schnell hintereinander Tageslicht und künstliches Licht wechseln kann, so sind bei Tageslicht die Zähne bei oberflächlicher Betrachtung alle ziemlich gleich.

Sobald aber die künstliche Beleuchtung einsetzt, verändern alle Zähne ihr optisches Verhalten. Während die Masse X und die Zähne Y sich rötlich verfärben und damit lebendig wirken, zeigen alle anderen Zähne — auch die alte Vita-Masse und die alten Vita-Zähne — einen grüngrauen Farbton an und wirken daher tot. Dies tritt umso-

mehr hervor, je länger man diese Erscheinung auf das Auge wirken läßt. Um in dieser Hinsicht eine weitere Klarstellung über das optische Verhalten der einzelnen Zahnfabrikate und zahnkeramischen Massen zu erhalten, habe ich folgende Versuche gemacht:

Es wurde einem Patienten, der eine gut zu bestimmende Zahnfarbe hatte, etwa Vita-Ring, Farbe 8, eine Jacketkrone aus der 980° Masse X gebrannt und dazu passende Jacketkronen von anderen Fabrikaten. Der Vergleich wurde im Munde bei verschiedener Beleuchtung vorgenommen. Hierbei stellt man nun zunächst die auffallende Erscheinung fest, daß nicht nur die menschlichen Zähne sich rötlich verfärben, sondern in der Tat auch der künstliche Zahn bzw. die 980° Jacketkrone X eine ähnliche Farbveränderung durchmacht, im Gegensatz zu den Erzeugnissen anderer Fabriken, obwohl diesen Fabrikaten mit Absicht rote Farbzusätze beigemengt sind. Sie sehen bei der künstlichen Beleuchtung unnatürlicher aus, als bei Tageslicht, indem sie ihre Farbe nach Grün-Grau zu verändern, also untransparenter werden.

Kollege S t e r n aus Malmö (Schweden), der literarisch auf keramischem Gebiete tätig ist und mit Farbphotographie sehr gute Erfolge erzielt hat, riet mir, diese Erscheinung mit Hilfe der Farbphotographie zu untersuchen und festzuhalten. Da ich hierin jedoch keinerlei Erfahrung habe, versuchte ich mit physikalischen Hilfsmitteln die Behauptung H i l t e b r a n d t s nachzuprüfen.

Die Masse „X“ und die künstlichen Zähne „Y“ haben u. a. die merkwürdige Eigenschaft genau wie die natürlichen Zähne und alle organischen Substanzen im ultravioletten Licht einer Quecksilber-Analysenlampe zu luminescieren, wo hingegen die anderen zahnkeramischen Massen und künstlichen Zähne dies nicht tun. In erster Linie mußte ich nun feststellen, ob das optische Verhalten von „X“ und „Y“ bei künstlicher Beleuchtung auf Luminescens oder

auf Reflexion beruht. Unter Luminescens verstehen wir die Eigenschaft bestrahlter Körper, absorbiertes Licht wieder in strahlendes Licht umzuwandeln. Mit Hilfe eines Spektroskopes ließ sich dann aber einwandfrei nachweisen, daß es eine Reflexionserscheinung und keine Luminescenserscheinung ist. Daran anschließend machte ich im physikalischen Institut folgende Versuche:

Zuerst ließ ich die Lichtstrahlen einer künstlichen Lichtquelle direkt auf den Spalt des Collimatorrohres eines Spektrographen fallen. Dieser Spalt läßt sich mittels einer Schraube enger oder weiter einstellen und befindet sich im Brennpukt einer dem Prisma zugekehrten Linse. Hierdurch laufen die Strahlen parallel zur Achse des Collimators. Durch ein Flintglas-Prisma, dessen brechender Winkel 60° beträgt, werden die Strahlen abgelenkt und treffen unter sich parallel auf die Objektivlinse eines Photoapparates bzw. eines Fernrohres und werden durch diese in ihrer Brennebene vereinigt. Auf der Mattscheibe zeigt sich dann ein Spektrum.

Der Spektrograph besitzt außerdem noch ein Skalenrohr, welches eine beleuchtete Milchglasskala sowie eine Sammellinse enthält. Durch Reflexion an der Vorderfläche des Prismas gelangt das Bild der Milchglasskala in den Photoapparat (bzw. in das Fernrohr beim Spektroskop), so daß man Skala und Spektrum zugleich wahrnimmt und sich so orientieren kann.

Ein Spektrum ist das Farbbild, in welches zusammengesetztes Licht durch Dispersion eines Prismas oder auch durch Beugung ausgebreitet wird. In diesem Falle handelt es sich um ein Emissionsspektrum, genauer gesagt, um ein Linienspektrum. Wie Abbildung „a“ zeigt, ergaben sich Spektrallinien von rot bis violett.

Diese Linien fotografierte ich nun, und mit Hilfe eines Komparators wurde die Wellenlänge dieser Spektrallinien genau in Angström ausgemessen und ebenso ihre jeweilige

Intensität bestimmt. Der Begriff Intensität bedeutet hier die Schärfe einer Spektrallinie.

Nachdem ich nun die Spektrallinien dieser künstlichen Lichtquelle wußte und festgelegt hatte, beleuchtete ich mit derselben Lichtquelle eine 980° Jacket-Krone von der Masse „X“ und ließ jetzt das von der Jacketkrone reflektierte Licht auf den Spalt des Spektrographen fallen. Es zeigte sich auch hier wiederum ein Spektrum, und wie die fotografische Aufnahme „b“ beweist, war das Ergebnis überraschend, denn es zeigten sich nur 3 Spektrallinien. Eine Linie bei Gelb, eine bei Rot und eine bei Grün. Nehme ich die Intensität der gelben Linie mit 10 an, so ist sie bei Grün = 5 und bei Rot = 3. Von Grün bis Violett fehlt aber jede Spektrallinie, das heißt, das Spektrum hat sich stark nach Rot zu verschoben. Der Zahn absorbiert also speziell grünes und graues Licht, während er vorwiegend gelbes und rotes Licht reflektiert. Die Krone wird also bei künstlicher Beleuchtung nicht grau-grün, sondern sie erscheint mehr rötlich-gelb und wirkt auch dadurch warm und lebendig.

Auf der Mattscheibe ist das Bild der Spektrallinien natürlich noch viel deutlicher und eindringlicher als bei der fotografischen Aufnahme. Auf der Mattscheibe sieht man nämlich die Spektrallinien in ihren Farben, während sie auf der Photographie nur als helle Linien erkenntlich sind. Außerdem kann man auf der Mattscheibe die Intensität der Linien besser erkennen und vergleichen. Auf den Photos wird man nämlich durch die Lichthöfe, die durch die lange Belichtungszeit (= ein paar Stunden) entstehen, leicht getäuscht.

Ausschlaggebend ist ja hierbei schließlich die Intensität (Schärfe der Spektrallinien) und nicht allein die Breite der Linien. Aus diesem Grunde sind die bei den folgenden Versuchen entstandenen grünen und violetten Spektrallinien so bedeutungsvoll und wichtig, obwohl sie klein und

schmal erscheinen. Man darf sich also nicht durch die Photographien irritieren lassen, sondern nur der Vergleich der verschiedenen fotografischen Platten mit Hilfe des Komparators ergibt erst ein genaues und richtiges Ergebnis.

Vergleichshalber bestrahlte ich jetzt auf die bereits vorher erwähnte Art und Weise eine Prisma- und Wienand-Jacket-Krone und fotografierte auch deren Spektrallinien (siehe Abbildung c und d). Nachdem auch hier die Wellenlänge in Angström bestimmt und die Intensität der Linien festgelegt war, ergab sich ein überzeugendes und charakteristisches Bild.

Denn außer einer roten, gelben und grünen Linie, wie sie das Spektrum der Jacketkrone von der Masse „X" ergab, zeigten sich hier eine weitere grüne Linie mit der Intensität = 8, ferner eine intensive blaue Doppellinie mit der Intensität = 4 und sogar eine violette Linie, die zwar klein und schmal ist, aber immerhin die Intensität 1 bzw. 2 besitzt. Dies ist ein deutlicher Beweis, daß hier eine starke Verschiebung nach grün vorliegt, und daß diese Zähne und zahnkeramischen Massen vornehmlich grün-graues Licht reflektieren. Sie werden also bei künstlicher Beleuchtung nicht wie die Masse „X" gelblich erscheinen, sondern mehr grün-grau.

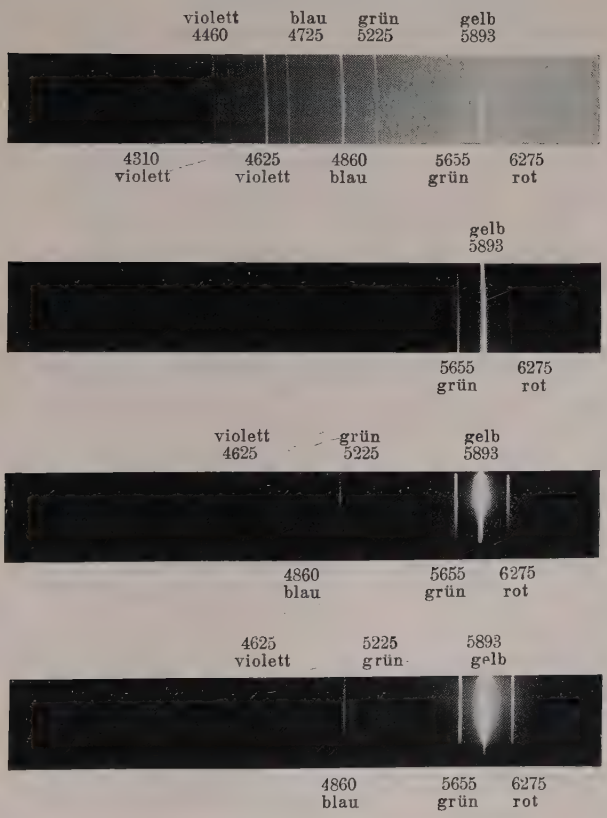
Die Lichtquelle und die Belichtungsdauer war natürlich bei allen Versuchen gleich. Ebenso wurde an der Versuchsanordnung nichts geändert.

Diese Versuche waren somit recht aufschlußreich, denn hiermit ist doch das verschiedene optische Verhalten künstlicher Zähne bzw. zahnkeramischer Massen auf physikalischem Wege auch erwiesen. So wie das Auge bei künstlicher Beleuchtung eine Verschiebung der einen Masse „X" nach rot zu und eine Verschiebung der anderen Massen nach grün-grau zu wahrnimmt, so zeigen auch die Spektrallinien bei der einen Masse (X) eine Verschiebung nach rot zu und bei den übrigen Massen eine Verschiebung nach grün.

Diese Erscheinung dürfte zweifellos an einer besonderen Zusammensetzung der neuen Masse liegen, denn bei den übrigen zahnkeramischen Massen wurden absichtlich geringe rote Farbzusätze beigefügt, und trotzdem erfolgte hier eine Verschiebung nach grün.

Nun eine Gegenüberstellung der Fotografien der verschiedenen Spektren mit den genauen Ergebnissen und Messungen und ein Schema der Versuchsanordnung:

Die verschiedenen Spektren.



Direktes Licht der künstl. Lichtquelle

Reflektiertes Licht der Masse „X“

Reflektiertes Licht der Prisma-Krone

Reflektiertes Licht der Wienand-Krone

Die Linien der verschiedenen Spektren und ihre Intensität treten natürlich bei dem Negativ (photographische Platte) deutlicher hervor als bei dem Positiv (Abzug).

Die Ausmessung der verschiedenen Spektren

a) Direktes Licht

Intensität (geschätzt)	Wellenlänge in AE (= Angström = 10^{-8} cm)
3	6275 (rot)
10	5893 (gelb)
5	5655 (grün)
4	5225
5	4860 (blau)
3	4725
kleiner als 1	4700
5	4625 violett
kleiner als 1	6 Linien mit dem Schwerpunkt 4500
2	4460
kleiner als 1	3 Linien mit dem Schwerpunkt 4340
2	4310
kleiner als 1	4 Linien mit dem Schwerpunkt 4200
1	4185
kleiner als 1	4 Linien mit dem Schwerpunkt 4150

b) Von der Masse X reflektiertes Licht

Intensität	Wellenlänge in AE
3	6275 (rot)
10	5893 (gelb)
5	5655 (grün)

c) Reflektiertes Licht der Prismakrone

Intensität	Wellenlänge in AE
4	6275 (rot)
10	5893 (gelb)
8	5655 (grün)
3	5225
4	4860 (blau)
1	4625 violett

d) Reflektiertes Licht der Wienandkrone

Intensität	Wellenlänge in AE
4	6275 (rot)
10	5893 (gelb)
8	5655 (grün)
3	5225
4	4860 (blau)
2	4625 violett

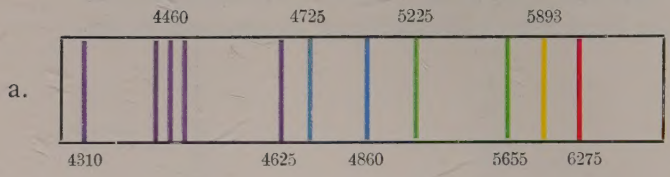
Die Behauptung von Hiltebrandt, daß die neuen Massen und Zähne (X und Y) bei künstlicher Beleuchtung die Tendenz besitzen, sich rötlich zu verfärben, wird demnach durch die Spektren weitestgehend bejaht und unterstrichen.

Zusammenfassung.

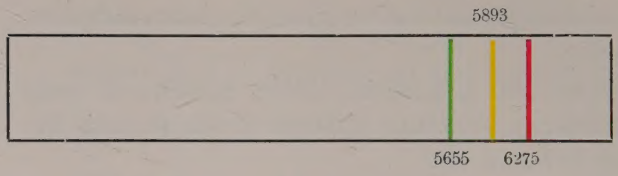
Auf Grund der verschiedenen Versuche kann man also folgendes sagen:

1. Natürliche und künstliche Zähne haben ein ganz verschiedenes optisches Verhalten, was ja auch allgemein bekannt ist.
2. Das optische Verhalten besteht aller Wahrscheinlichkeit nach darin, daß die künstlichen Zähne bei der üblichen künstlichen Beleuchtung die Tendenz besitzen, sich grün-grau zu verfärben, während die natürlichen Zähne nach rot abgewandelt werden.
3. Man kann sagen, daß bei den untersuchten Massen und Zähnen die Tendenz nach rot nicht gefunden wird, auch nicht bei den bisherigen Massen und Zähnen von Vita, sondern lediglich bei der Masse „X“ und den Zähnen „Y“, die sich jedoch noch nicht im Handel befinden, mir aber aus dem wissenschaftlichen Laboratorium der Vita-Zahnfabrik für meine Versuche zur Verfügung gestellt wurden.

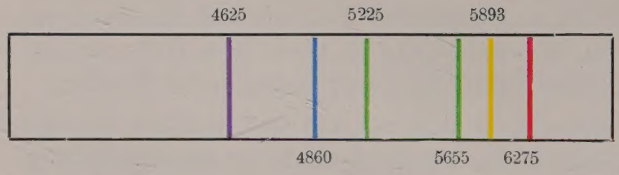
Schematische Darstellung der verschiedenen Linienspektren.



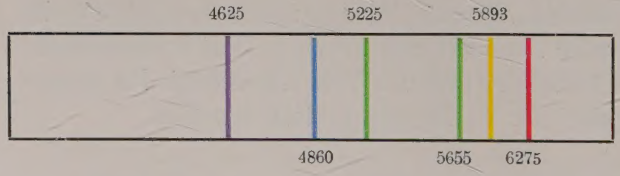
a. Direktes Licht der künstl. Lichtquelle



b. Reflektiertes Licht der Masse „X“



c. Reflektiertes Licht der Wienand-Krone



d. Reflektiertes Licht der Prisma-Krone

Zum Schlusse möchte ich Herrn Prof. Dr. W a s m u t h und Herrn Dr. Julius J a n t z e n für die Überlassung des Themas und das Interesse, das sie meiner Arbeit entgegengebracht haben, herzlich danken.

Lebenslauf.

Am 9. April 1915 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Dr. Ernst E n g e l und seiner Ehefrau Hedwig geb. Gerlach in Saarbrücken geboren. Ich besuchte das Gymnasium in Saarbrücken, Bad Kreuznach und Heidelberg und legte im Frühjahr 1934 dort die Reifeprüfung ab. Das zahnmedizinische Studium begann ich dann an der Universität Freiburg i. Br., wo ich im WS. 1935/36 die zahnärztliche Vorprüfung bestand. Die drei letzten klinischen Semester verbrachte ich an der Universität Tübingen und legte hier zu Ende des WS. 1937/38 das Staatsexamen ab.

E r n s t E n g e l.